

Implementasi dan Evaluasi Kinerja Modulasi dan Demodulasi GMSK dengan menggunakan WARP

Dwi Putri Kusumadewi, Suwadi, dan Titiek Suryani

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: dwiputrikusumadewi@gmail.com, suwadi110@gmail.com, titiks@ee.its.ac.id

Abstrak — Modulasi GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) adalah teknik modulasi yang mengurangi *spectrum sidelobe* pada modulasi *Minimum Shift Keying* (MSK) dengan cara melewatkan sinyal NRZ ke filter LPF *Gaussian*. Teknik modulasi ini biasanya digunakan pada jaringan komunikasi GSM. Pada Tugas Akhir ini dilakukan proses perancangan dan implementasi modulasi dan demodulasi GMSK pada platform WARP. Proses perancangan modulasi GMSK dilakukan melalui pemrograman pada software MATLAB 2012. Sistem diimplementasi pada modul WARPLab7. Jumlah bit yang dibangkitkan adalah 106800 bit. Sebelum sistem diimplementasikan pada modul WARP, sinyal hasil ditambahkan dengan bit pilot dan *preamble* yang nantinya berguna untuk mendeteksi data informasi di penerima. Setelah penambahan pilot dan *preamble*, data di *upsample* terlebih dahulu kemudian dilakukan proses *upconvert* agar dapat dikirimkan melalui WARP. Pengujian implementasi sistem dilakukan dengan cara pengukuran nilai BER (*Bit Error Rate*) secara real pada beberapa kondisi, diantaranya perbedaan nilai BT, perbedaan jarak antara *node* pengirim dan *node* penerima dan kondisi LOS (*Line of Sight*) dan NLOS (*No Line of Sight*). Berdasarkan hasil pengujian didapatkan pada lingkungan *indoor* nilai BER terkecil diperoleh pada jarak 4 meter kondisi LOS dengan TxRF sebesar -22.97 dBm dengan BER 6×10^{-6} , sedangkan untuk lingkungan *outdoor* nilai BER terkecil diperoleh pada jarak 6 meter kondisi LOS dengan TxRF sebesar -22.97 dBm dengan BER 6.9×10^{-5} .

Kata kunci— GMSK, *Wireless Open Access Research Platform*, BER.

I. PENDAHULUAN

Penelitian implementasi modulasi dan demodulasi GMSK pada modul WARP. Modulasi GMSK merupakan pengembangan dari teknik modulasi MSK (*Minimum Shift Keying*) dimana pada modulasi GMSK terdapat penambahan *Gaussian low pass filter*. Filter ini berfungsi untuk mengurangi atau menghilangkan *upper-sidelobe* pada *spectrum* sinyal sehingga *bandwidth* informasi dapat melewati *bandwidth* kanal yang disediakan. WARP (*Wireless Open-Access Research Platform*) adalah salah satu bentuk *Software Defined Radio* yang dikembangkan sebagai modul penelitian tentang sistem komunikasi nirkabel. WARP merupakan sebuah FPGA (*Field Programmable Gate Array*) atau modul DSP (*Digital Signal Processing*) yang terhubung dengan modul radio. Pemrograman untuk modulasi dan demodulasi GMSK dengan menggunakan software MATLAB. Masalah yang dibahas adalah performa BER terhadap perubahan nilai BT (*bandwidth/bit time*) pada lingkungan *indoor* dan *outdoor*.

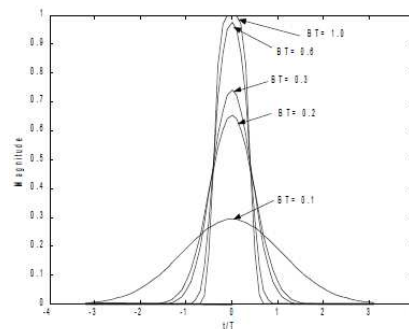
II. TEORI PENUNJANG

A. Gaussian Minimum Shift Keying

MSK (*Minimum Shift Keying*) merupakan tipe CPFSK (*Continuous Phase Shift Keying*) dimana deviasi frekuensi puncaknya sama dengan $\frac{1}{4}$ bit rate. MSK kurang efisien digunakan untuk komunikasi bergerak karena *spectrum* frekuensinya masih memiliki lobus samping. Untuk memperbaiki kondisi tersebut, maka dikembangkanlah modulasi GMSK.^[4] GMSK sebagai bentuk pengembangan dari MSK, didapatkan dengan cara melewatkan sinyal input ke dalam *premodulation filter* Gaussian sebelum termulasi MSK. Filter tersebut berfungsi sebagai *shaping* filter dimana untuk membentuk sinyal NRZ yang tidak kontinu menjadi sinyal kontinu [1]. *Premodulation filter* Gaussian mengubah respon penuh sinyal informasi (dimana setiap simbol *baseband* membutuhkan satu periode bit T) ke dalam respon sebagian yang mana setiap simbol yang dikirim membutuhkan beberapa periode bit. Hubungan antara *pre-modulation filter bandwidth*, B, dan periode bit, T, mendefinisikan *bandwidth* dari sistem. Respon filter Gaussian ditentukan oleh persamaan (1) [2]:

$$g(t) = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{B}{T} \left(\frac{t}{T_b} - \frac{1}{2} \right) \right) - \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{B}{T} \left(\frac{t}{T_b} + \frac{1}{2} \right) \right) \right] \quad (1)$$

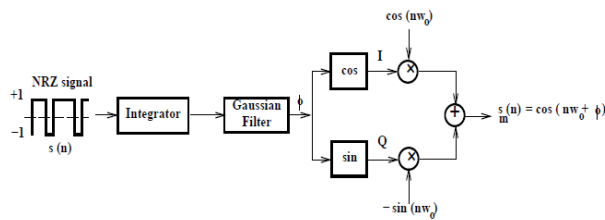
Berdasarkan persamaan diatas, respon filter dari filter Gaussian dengan beberapa variasi nilai BT dibuat dengan menggunakan Matlab dapat ditunjukkan pada gambar



Gambar 1 Respon filter Gaussian dengan beberapa variasi nilai BT[2]

B. Modulator GMSK[3]

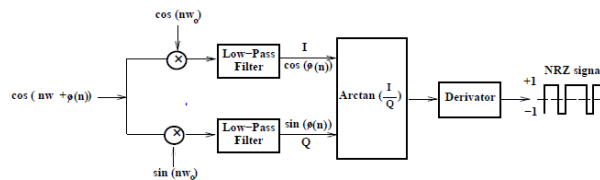
Proses yang terjadi pada modulator GMSK dimulai dari perubahan bit stream 0 dan 1 menjadi bit bipolar dengan level -1 dan 1. Kemudian bit bipolar tersebut diproses melalui filter Gaussian $g(t)$. Respon filter dihitung melalui konvolusi antara bit bipolar dengan $g(t)$. Hasil konvolusi kemudian diintegrasikan untuk menghitung nilai fase $\phi(t)$.



Gambar 2 Blok modulator GMSK

C. Demodulator GMSK[3]

Sinyal GMSK yang sudah ditransmisikan harus didemodulasikan, agar didapatkan sinyal informasi sesuai yang dikirimkan pemancar. Penerima hanya melakukan proses kebalikan dari pemancar.



Gambar 3 Blok demodulator GMSK

D. Probabilitas Error Bit[3]

Dalam pengiriman bit, pada bagian penerima dapat terjadi kesalahan yang biasa disebut *probabilitas error bit* (P_b). Untuk menunjukkan kinerja sistem, digunakan probabilitas error yang nantinya didapatkan nilai *Bit Error Rate* (BER).

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{2\alpha E}{N_0}}\right)^b \quad (2)$$

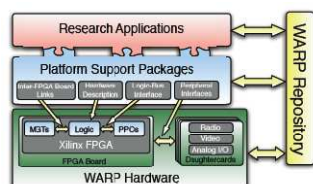
Dimana $Q(x)$ merupakan persamaan *Q-function*, didefinisikan sebagai probabilitas error simbol pada *noise Gaussian* dan α adalah variabel konstanta (*roll of factor*) yang sama dengan nilai BT.

E. Wireless Open Access Research Platform (WARP)

WARP (*Wireless Open-Access Research Platform*) merupakan salah satu perangkat radio yang bisa diprogram untuk membuat *prototype* jaringan wireless. WARP menggabungkan perangkat dengan kemampuan tinggi yang bisa diprogram dengan *repository open-source*. Proses implementasi sistem komunikasi pada WARP dilakukan pada modul WARP sebagai FPGA dan modul Radio sebagai antarmuka antara sistem komunikasi dengan pengolahan sinyal digital.

1. Arsitektur Platform[4]

Arsitektur *platform* WARP ini terdiri dari empat komponen yaitu *Custom hardware*, *platform support packages*, *open-access repository*, dan *research applications*.

Gambar 4 Komponen desain *platform*

- Custom Hardware : *Custom hardware* dirancang untuk memenuhi kebutuhan komunikasi nirkabel dengan kinerja yang tinggi.
- Platform Support Packages : Perangkat desain dan modul antarmuka *low-level* di rancang oleh peneliti agar memungkinkan penggunaan perangkat dengan baik pada semua lapisan desain jaringan nirkabel.
- Open-Access Repository : *Repository* berfungsi sebagai arsip untuk semua aspek dari *platform*, termasuk desain, dokumentasi perpustakaan, dan contoh aplikasi.
- Research Applications : Implementasi algoritma baru, diaktifkan oleh *hardware* dan paket *support platform*.

2. Desain Hardware

WARP memiliki empat radio board yang bisa diatur secara terpisah. Masing-masing bekerja sebagai transceiver dan memiliki register tersendiri.



Gambar 5 Modul WARP

- Board FPGA[4]
WARP menggunakan FPGA sebagai processor utama karena memberikan pengolahan sumber daya yang besar, blok *programmable logic* di dalamnya dapat saling dihubungkan sehingga dapat membentuk unit fungsional yang kompleks.
- Radio Board
Radio board merupakan interface dari domain digital ke domain analog.

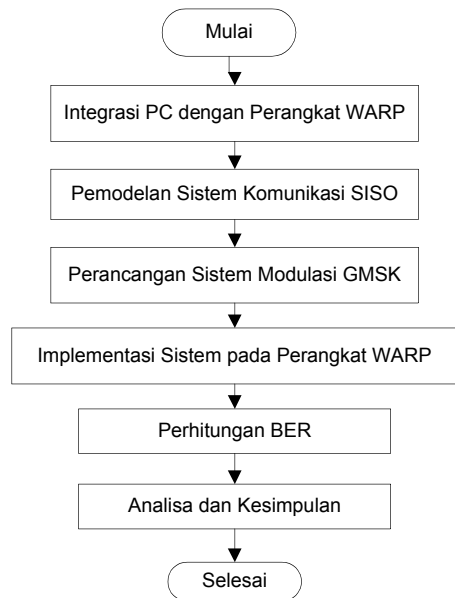


Gambar 6 Radio Board

- Peripheral Daughtercards[4]
Slot *daughtercard* memberikan kesempatan untuk merancang berbagai *custom daughtercards*.
- MIMO/SISO/MISO/SIMO Radio[5]
Desain platform radio WARP dirancang agar dapat bekerja pada band ISM 2,4 GHz dan 5 GHz.
- 10/100 Ethernet Port[5]
Digunakan sebagai penghubung/interface antara platform board WARP dengan kabel yang menghubungkan ke jaringan internet.

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

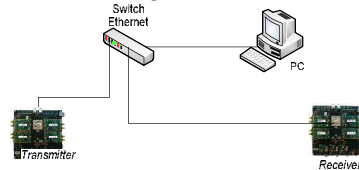
Alur perancangan sistem modulasi dan demodulasi GMSK pada WARP ditunjukkan pada gambar 7



Gambar 7 Alur perancangan sistem

A. Integrasi PC dengan WARP

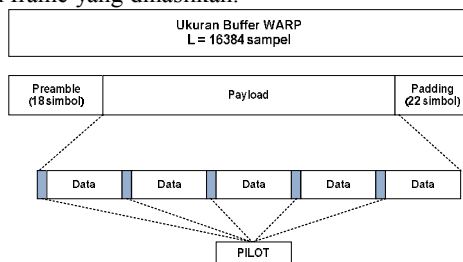
Pada Tugas Akhir ini menggunakan perangkat WARP V.2 dengan WARP Lab versi 7 untuk mengimplementasikan sistem yang telah dirancang.



Gambar 8 Integrasi PC dengan perangkat WARP

B. Implementasi Sistem

Modul WARP memiliki batasan untuk *buffer* IQ sebesar 2^{14} sampel atau sebanyak 16384 sampel dalam sekali pengiriman data. Jika data yang akan dikirimkan melebihi 16384 sample, maka data tersebut akan dibagi menjadi beberapa frame dan akan dikirimkan secara berulang sesuai jumlah frame yang dihasilkan.



Gambar 9 Desain frame data yang dikirimkan WARP

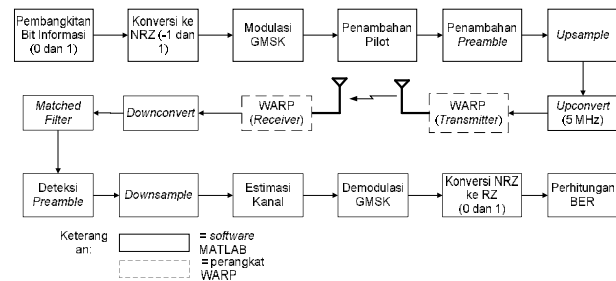
Parameter yang digunakan untuk filter *Squared Root Raised Cosine* (SRRC) adalah sebagai berikut:

- Filter Orde : 64
- Roll of factor : 0.3
- Upsample : 8

Parameter pada perangkat WARP adalah sebagai berikut:

- Tx gain RF : 0 - 60
- Tx gain Baseband : 1
- Rx gain RF : 1
- Rx gain BB : 13

- Frekuensi *upconvert* : 5 MHz
- Frekuensi *downconvert* : 5 MHz
- Frekuensi sampling WARP : 40 MHz



Gambar 10 Blok diagram sistem komunikasi SISO dengan modulasi GMSK

C. Metode Pengukuran

Pada Tugas Akhir ini, pengukuran dari implementasi sistem modulasi dan demodulasi GMSK dilakukan pada kondisi lingkungan yang berbeda yaitu lingkungan *indoor* dan lingkungan *outdoor*. Selain kondisi lingkungan *indoor* dan *outdoor*, pengukuran juga dilakukan dengan kondisi LOS (*Line of Sight*) atau tanpa penghalang dan NLOS (*No Line of Sight*) atau dengan penghalang. Berbagai macam pengukuran dilakukan untuk membandingkan kinerja sistem komunikasi SISO dengan metode teknik modulasi GMSK pada lingkungan yang berbeda.

Parameter yang digunakan dalam pengukuran antara lain:

- Jumlah bit : 106800
- Frek. Upsampling GMSK : 1
- Frekuensi *upconvert* : 5 MHz
- Simbol *Preamble* : 18 simbol
- Simbol Pilot : setiap 9 simbol

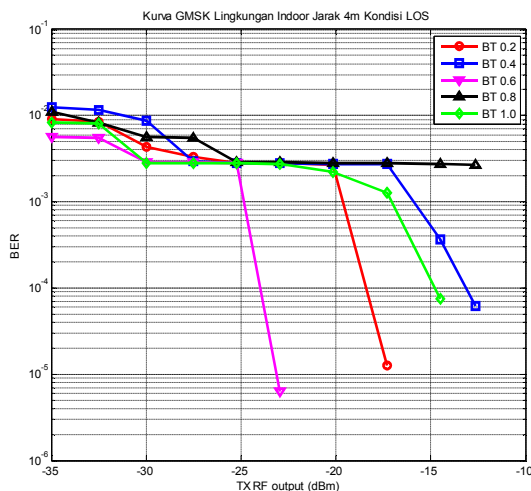
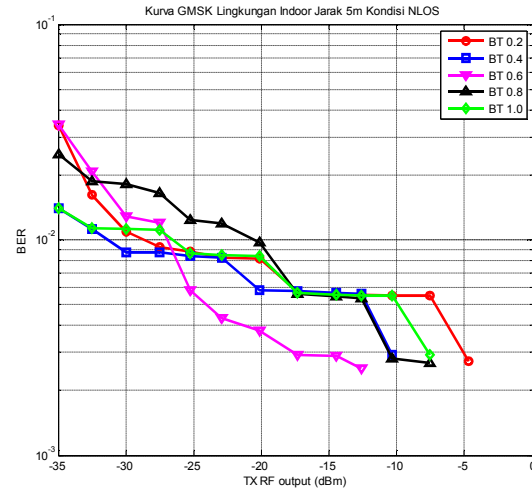
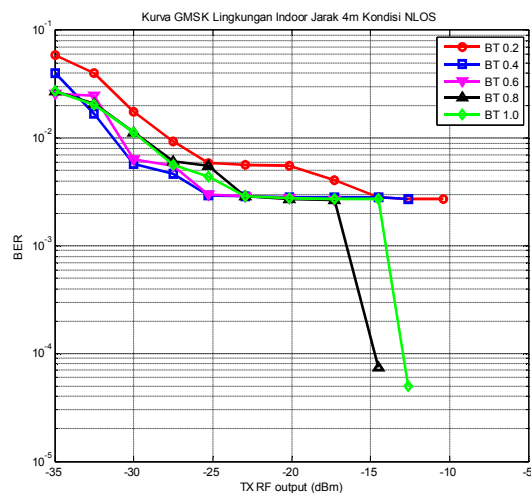
IV. PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Pada Bab IV berisi hasil pengukuran dan analisa dari implementasi sistem komunikasi dengan teknik modulasi GMSK menggunakan *Wireless Open Access Research Platform* (WARP).

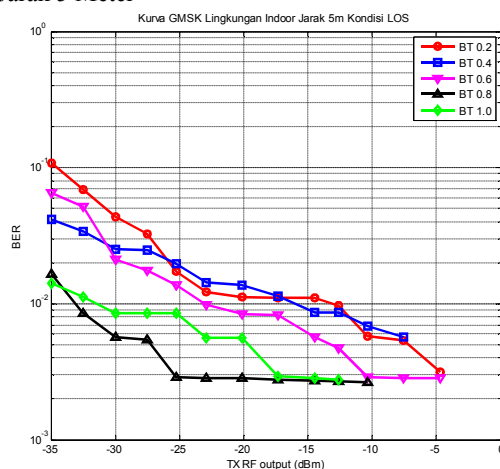
A. Analisa Hasil Pengukuran pada Lingkungan Indoor

1. Jarak 4 Meter

Berdasarkan data pengukuran pada kondisi LOS dan NLOS, nilai BER yang dihasilkan pada kondisi LOS lebih baik dibandingkan NLOS. Untuk nilai BT = 0.6, pada kondisi LOS, diperlukan gain yang lebih kecil untuk mendapatkan nilai BER sama dengan nol yaitu pada gain 30, sedangkan pada kondisi NLOS diperlukan gain sebesar 40. Hal ini disebabkan karena pada kondisi NLOS terdapat penghalang antara *node* pengirim dan *node* penerima yang mengganggu proses pengiriman data. Penghalang tersebut dapat menyebabkan sinyal yang dikirimkan mengalami pantulan dan menempuh jarak yang lebih jauh untuk sampai di penerima sehingga data yang dikirim dapat mengalami perubahan (*error*).

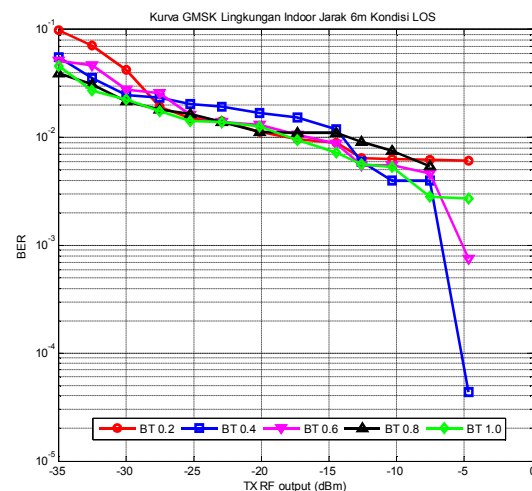
Gambar 11 Grafik BER GMSK jarak 4m lingkungan *Indoor* pada kondisi LOSGambar 14 Grafik BER GMSK jarak 5m lingkungan *Indoor* pada kondisi NLOSGambar 12 Grafik BER GMSK jarak 4m lingkungan *Indoor* pada kondisi NLOS

2. Jarak 5 Meter

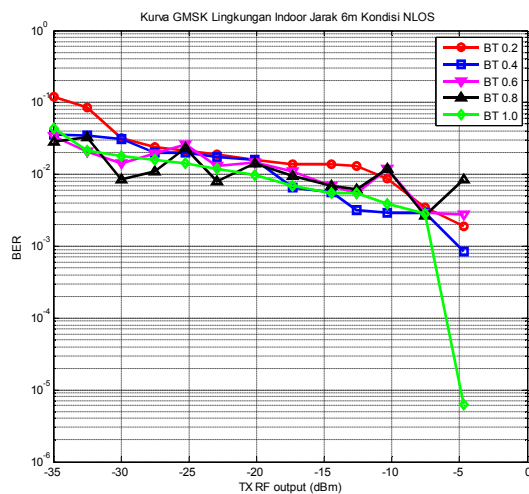
Gambar 13 Grafik BER GMSK jarak 5m lingkungan *Indoor* pada kondisi LOS

Berdasarkan data hasil pengukuran pada kondisi LOS dan NLOS untuk jarak 5 meter, nilai BER yang dihasilkan pada kondisi LOS lebih baik dibandingkan kondisi NLOS. Misal untuk nilai $BT = 1$, pada kondisi LOS diperlukan gain sebesar 50 untuk mendapatkan nilai $BER = 0$ sedangkan pada kondisi NLOS memerlukan gain yang lebih besar yaitu sebesar 60 agar mendapatkan nilai BER sama dengan nol.

3. Jarak 6 Meter

Gambar 15 Grafik BER GMSK jarak 6m lingkungan *Indoor* pada kondisi LOS

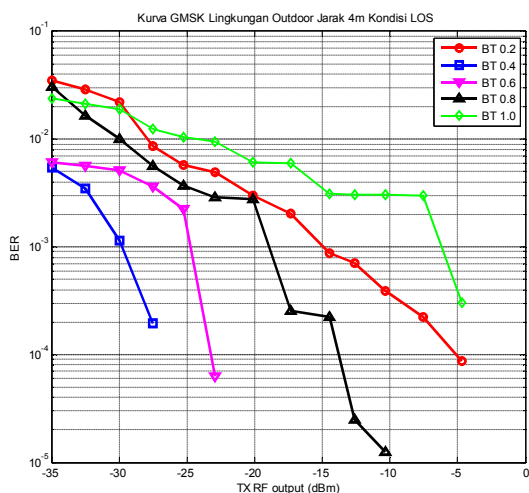
Berdasarkan hasil pengukuran antara kondisi LOS dan NLOS dibandingkan, dapat dilihat jika pada kondisi LOS memiliki nilai BER yang lebih kecil dibandingkan pada kondisi NLOS. Hal ini disebabkan karena pada kondisi NLOS terdapat penghalang berupa jaring kawat di antara pengirim dengan penerima sehingga menyebabkan sinyal yang dikirimkan mengalami lebih banyak pantulan dan menempuh jarak yang lebih jauh untuk sampai di penerima. Pemantulan sinyal tersebut dapat menyebabkan gangguan pada sinyal yang dikirimkan.



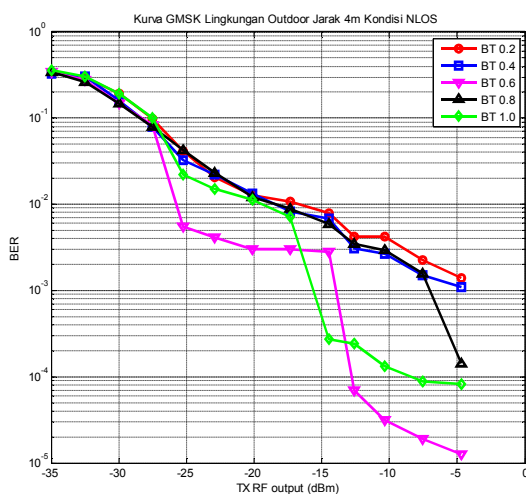
Gambar 16 Grafik BER GMSK jarak 6m lingkungan *Indoor* pada kondisi NLOS

B. Analisa Hasil Pengukuran pada Lingkungan Outdoor

1. Jarak 4 Meter



Gambar 17 Grafik BER GMSK jarak 4m lingkungan *Outdoor* pada kondisi LOS

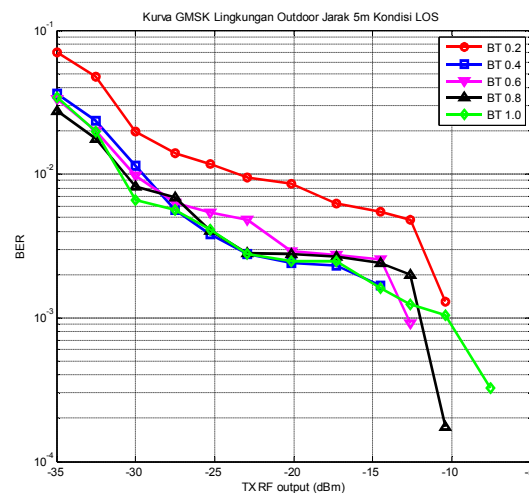


Gambar 18 Grafik BER GMSK jarak 4m lingkungan *Outdoor* pada kondisi NLOS

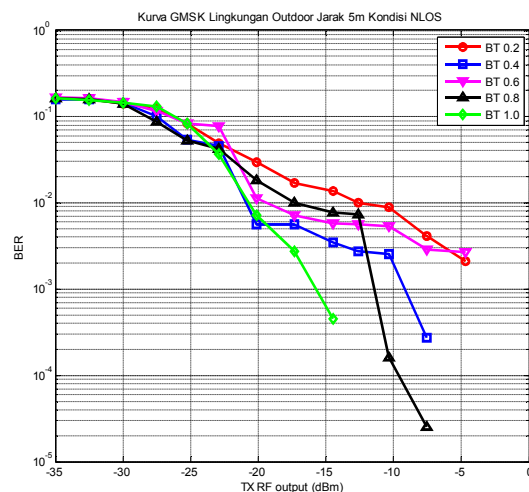
Berdasarkan hasil pengukuran nilai BER pada kondisi LOS dan NLOS, nilai BER pada kondisi NLOS lebih besar

dibandingkan dengan LOS, kondisi ini sesuai dengan teori. Pada kondisi NLOS terdapat penghalang antara pengirim dan penerima sehingga sinyal yang dikirimkan mengalami lebih banyak pantulan dan redaman sehingga *error* yang dihasilkan lebih besar.

2. Jarak 5 Meter



Gambar 19 Grafik BER GMSK jarak 5m lingkungan *Outdoor* pada kondisi LOS



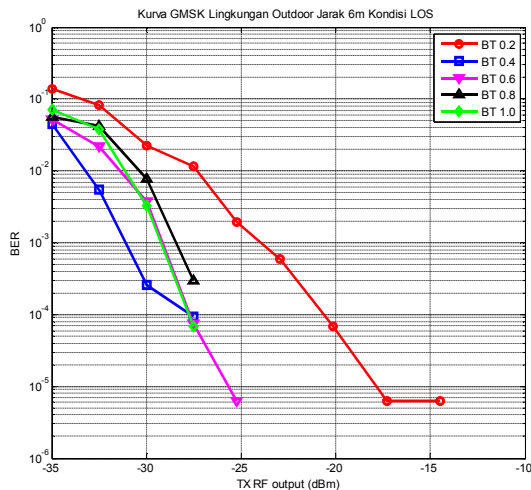
Gambar 20 Grafik BER GMSK jarak 5m lingkungan *Outdoor* pada kondisi NLOS

Berdasarkan hasil pengukuran pada kondisi LOS dan NLOS dibandingkan, kinerja keduanya hampir mendekati sama, tetapi *error* yang dihasilkan pada kondisi NLOS sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan kondisi LOS. Hal ini disebabkan karena pada kondisi NLOS terdapat penghalang antara pengirim dan penerima sehingga sinyal yang dikirimkan mengalami lebih banyak pantulan dan redaman sehingga *error* yang dihasilkan lebih besar.

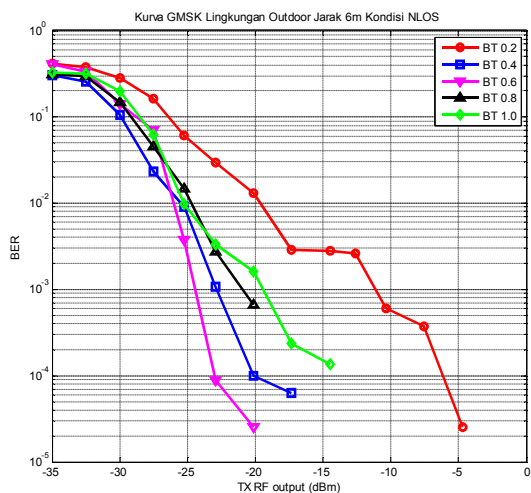
3. Jarak 6 Meter

Berdasarkan hasil pengukuran nilai BER pada kondisi LOS dan NLOS dibandingkan, nilai BER pada kondisi LOS lebih kecil dibandingkan pada kondisi NLOS. Hal ini disebabkan karena pada kondisi NLOS terdapat penghalang antara pengirim dan penerima sehingga sinyal yang dikirimkan mengalami lebih banyak pantulan dan redaman

sehingga *error* yang dihasilkan lebih besar. Pengukuran tersebut sesuai dengan teori.



Gambar 21 Grafik BER GMSK jarak 6m lingkungan *Outdoor* pada kondisi LOS



Gambar 22 Grafik BER GMSK jarak 6m lingkungan *Outdoor* pada kondisi NLOS

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan proses implementasi, pengujian dan analisis dari sistem teknik modulasi dan demodulasi GMSK pada modul WARP dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi LOS menghasilkan nilai BER yang lebih baik dibandingkan pada kondisi NLOS. Pada jarak 4 meter, untuk nilai BT 0.2, nilai BER pada kondisi LOS nilai $T_x R_f = 35$ adalah 1.2×10^{-5} dan pada kondisi NLOS nilai $T_x R_f = 50$ adalah 2.7×10^{-3} .
2. Semakin jauh jarak antara node pengirim dan penerima, maka nilai BER yang dihasilkan juga akan semakin besar.
3. Semakin kecil nilai BT, maka nilai BER yang dihasilkan akan semakin besar.
4. Pengukuran pada lingkungan *outdoor* menghasilkan nilai BER yang lebih baik dibandingkan pada lingkungan *indoor*.
5. Nilai $T_x R_f$ yang semakin besar menyebabkan nilai BER yang semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Murota, K. and Hirade, K. July 1981. GMSK Modulation for Digital Mobile Radio Telephony. *IEEE Transactions on Communications*. Vol.Com-29, No.7.
- [2] Marpanaji, Eko., Riyanto, Bambang., Langi, Armein Z.R., Mahendra, Andri and Liung, Thay. 2006. "Simulation and Experimental Study of GMSK Modulation on SDR Platform." *International Joint Conference TSSA & WSSA 2006*.
- [3] Sukmana, Aditya., Suwadi dan Suryani, Titiek. 2014. "Implementasi Modulasi dan Demodulasi GMSK pada DSK TMS320C6416T". *Jurnal Teknik POMITS* Vol. 3, No1.
- [4] Patrick Murphy, Ashu Sabharwal, and Behnaam Aazhang, "Design of WARP: a Wireless Open-Access Research Platform," 14th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2006), Florence, Italy, September 4-8, 2006.
- [5] Khattab, Ahmed., Camp, Joseph., Hunter, Chris., Murphy, Patrick., Sabharwal, Ashutosh and Kightly, Edward W. "Demonstration Abstract: WARP – A Flexible Platform for Clean-Slate Wireless Medium Access Protocol Design". ECE Department, Rice University, Houston, TX, USA. Proakis, John G. "Digital Communications Fourth Edition". Prentice Hall. 2006.